









Heat exchange tube structured on both sides and process for making same

Patent number: EP1113237
Publication date: 2001-07-04
Inventor: BEUTLER ANDREAS DR (DE); FETZER GUENTER (DE); LUTZ RONALD DIPL-ING (DE); SCHUEZ GERHARD DR-ING (DE); SCHWITALLA ANDREAS DIPL-ING (DE)
Applicant: WIELAND WERKE AG (DE)
Classification:
- international: F28F1/42; B21C37/20
- european: B21C37/20D; F28F1/42
Application number: EP20000126816 20001207
Priority number(s): DE19991063353 19991228

Also published as:

 US6488078 (B2)
 US2001006106 (A1)
 EP1113237 (A3)
 DE19963353 (A1)

Cited documents:

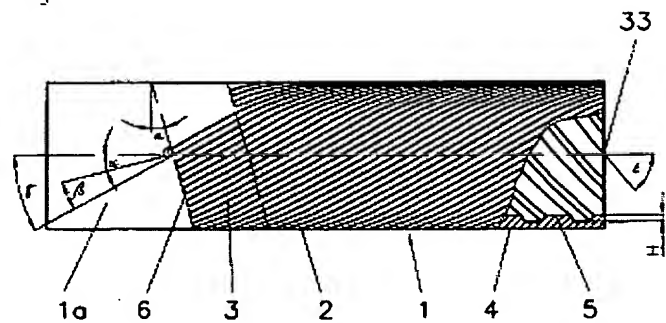
 CN1230672
 DE19757526
 US5996686
 US5992512
 US3383893
more >>

Report a data error here

Abstract of EP1113237

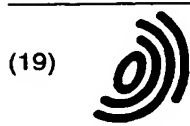
The tube has smooth ends (1a), a structured area (2) on inside and outside and smooth intermediate areas. The outer diameter of the structured area is not larger than that of the smooth ends or intermediate areas. Lines of depressions (3) with trapezoid cross-sections run on the outside at an angle (gamma) of 0 degrees -70 degrees to the tube axis (33). Ribs (5) 0.15-0.6 mm high run inside the tube at an angle (epsilon) of 10 degrees -50 degrees to the tube axis. The pitch of the recesses is 0.25-2.2 mm, measured perpendicular to the symmetry surface. The width of the depressions is 0.6-0.8 times the pitch, measured at the half-depth of the depressions. The flank angle of the depressions is 7 degrees -25 degrees, measured against the symmetry surfaces. An Independent claim is included for a method for manufacturing a heat exchanger tube.

Fig.3



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 113 237 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
04.07.2001 Patentblatt 2001/27

(51) Int Cl.⁷: F28F 1/42, B21C 37/20

(21) Anmeldenummer: 00126816.8

(22) Anmeldetag: 07.12.2000

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 28.12.1999 DE 19963353

(71) Anmelder: Wieland-Werke AG
89070 Ulm (DE)

(72) Erfinder:
• Beutler, Andreas, Dr.
89264 Weissenhorn (DE)
• Fetzer, Günter
89195 Staig (DE)
• Lutz, Ronald, Dipl.-Ing. (FH)
89143 Blaubeuren (DE)
• Schütz, Gerhard, Dr.-Ing.
89269 Vöhringen (DE)
• Schwitalla, Andreas, Dipl.-Ing.
89186 Illerrieden (DE)

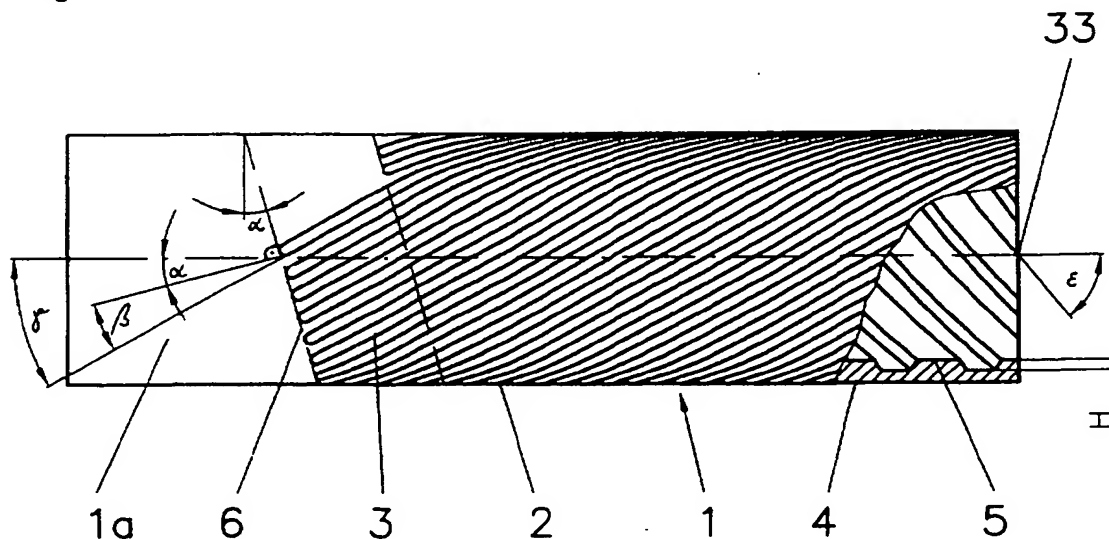
(54) Beidseitig strukturiertes Wärmeaustauscherrohr und Verfahren zu dessen Herstellung

(57) Die Erfindung betrifft beidseitig strukturierte Wärmeaustauscherrohre (1) mit ausgezeichneten Wärmeübertragungseigenschaften, die auf der Außenseite Vertiefungen (3, 7) und auf der Innenseite Rippen (5) bestimmter Abmessungen aufweisen.

Die für verschiedene Verfahrensvarianten verwendeten Strukturierungswerkzeuge werden so eingestellt,

daß sie nicht nur fluchtende, kontinuierliche Nuten (3) und nicht-fluchtende, voneinander beabstandete Vertiefungen (7) sondern auch sekundäre Strukturen erzeugen können. Die vorzugsweise mit glatten Enden (1a) und glatten Zwischenstücken (1b) versehenen Wärmeaustauscherrohre (1) werden insbes. in Rohrbündelwärmeaustauschern eingesetzt (Fig. 3).

Fig.3



EP 1 113 237 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft Wärmeaustauscherrohre mit wahlweise glatten Enden, mindestens einem auf der Rohraußen- und Rohrrinnenseite strukturierten Bereich und wahlweise glatten Zwischenbereichen, wobei der Außendurchmesser des strukturierten Bereichs nicht größer ist als der Außendurchmesser der glatten Enden bzw. der glatten Zwischenbereiche.

[0002] Dieser Typ von Rohren wird üblicherweise als "beidseitig strukturierte Rohre" bezeichnet.

[0003] Wärmeaustauscherrohre der genannten Art werden üblicherweise in Rohrbündelwärmeaustauschern eingesetzt (siehe Fig. 1, Quelle: TEMA, Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, New York, 1968). Diese Wärmeaustauscher sind charakterisiert durch eine Anzahl von parallel angeordneten Rohren 30, die an ihren Enden fest mit den Rohrböden 31 verbunden sind. Je nach Einsatzbedingung und Länge werden die Rohre mittels Stützblechen 32 abgestützt. Diese Stützbleche 32 dienen auch dazu, den mantelseitigen Fluidstrom in bestimmten Richtungen zu lenken. In den Rohren 30 strömt z.B. Wasser oder eine Mischung aus Wasser und Glykol, wobei das rohrrseitig strömende Medium erhitzt oder abgekühlt wird.

[0004] Um die Wärmeübertragungsleistung derartiger Wärmeaustauscher zu steigern, werden berippte oder strukturierte Rohre anstelle von glatten eingesetzt. Hierbei ist beabsichtigt, die für die Wärmeübertragung zur Verfügung stehende Fläche zu vergrößern und ferner Effekte der Oberflächenspannung auszunutzen. In Fig. 2 ist schematisch ein strukturiertes Wärmeaustauscherrohr 30 dargestellt. Es besitzt mehrere strukturierte Bereiche 2, die durch glatte, unstrukturierte Enden 1a und glatte, unstrukturierte Zwischenstücke 1b begrenzt sind. An den glatten Enden 1a wird das Rohr 30 üblicherweise durch einen Einwalzvorgang fest mit den Rohrböden 31 verbunden. An den glatten Zwischenstücken 1b liegt das Rohr 30 in den Bohrungen der Stützbleche 32 auf. Damit das Rohr in die Rohrböden 31 und Stützbleche 32 eingeschoben und mit den Rohrböden 31 dicht verbunden werden kann bzw. in den Bohrungen der Stützbleche 32 nicht zuviel Spiel hat, darf der äußere Durchmesser der strukturierten Bereiche 2 nicht größer als der äußere Durchmesser der glatten Bereiche 1a und 1b sein. Andererseits sollte der Innendurchmesser des Rohrs 30 im strukturierten Bereich 2 möglichst groß sein, um den Druckabfall des rohrrseitig strömenden Mediums gering zu halten. Bei gegebenem Strukturtyp stehen Außen- und Innendurchmesser des Rohres 30 im strukturierten Bereich 2 zueinander in Relation, so daß auch der Außendurchmesser des Rohres 30 im strukturierten Bereich 2 möglichst groß gewählt werden sollte. Folglich ist es zweckmäßig, den Außendurchmesser im strukturierten Bereich 2 nahezu gleich dem Außendurchmesser der glatten Rohrbereiche 1a und 1b zu wählen.

[0005] Um die Materialkosten derartiger Rohre zu senken, muß bei gegebenem Rohrdurchmesser das Metergewicht (= Rohrgewicht pro Längeneinheit) der Rohre reduziert werden. Da die Mindestwanddicke durch Sicherheitsanforderungen limitiert ist, kann eine Reduzierung des Metergewichts nur durch eine Reduzierung des Gewichts der Struktur erreicht werden. Ein Vergrößern der Wärmeübertragungsfläche durch Strukturierung bei gleichzeitiger Minimierung des Strukturgewichts erfordert eine sehr feine, filigrane Struktur.

[0006] Die Verwendung von beidseitig strukturierten Rohren ist Stand der Technik in einigen Teilen der Industrie (z. B. bei Kaltwassersätzen). Viele dieser Rohre basieren auf Rippenrohren, wobei die Rippenspitzen durch Kerben und Einglätten modifiziert wurden. Üblicherweise werden derartige Rohre mit einem Walzvorgang hergestellt: Walzscheiben mit bestimmter Profilform werden mit ansteigendem Durchmesser auf einer oder mehreren Werkzeugwellen aufgebaut. Diese Werkzeugwellen werden gleichmäßig um den Umfang des zu bearbeitenden Rohres herum angeordnet. Werden die schräg angestellten, rotierenden Walzwellen auf das glatte Rohr zugestellt, dann dringen die rotierenden Walzscheiben in die Rohrwand ein, versetzen das Rohr in Rotation, schieben es entsprechend ihrer Schrägstellung in Axialrichtung vor und formen schraubenlinienartige Rippen aus der Rohrwand heraus. Dieser Vorgang ist einem Gewindewalzvorgang ähnlich. Beispiele für diese Technologie sind in US-2 868 046, US-3 327 512, US-3 383 893, US-3 481 394 dargestellt.

[0007] Während des Walzvorganges wird das Rohr durch einen im Rohr liegenden Dorn abgestützt, der die radialen Kräfte aufnimmt. Zur Erzeugung einer inneren Struktur werden profilierte Dorne mit helixartigen Nuten verwendet (DE 23 03 172 C2). Da die innere Struktur des Rohres durch die Profilform des Dorns bestimmt wird, kann sie weitgehend unabhängig von der Geometrie der äußeren Berippung ausgebildet werden. Damit ist es möglich, Außen- und Innenstruktur unabhängig von einander dem Anwendungszweck optimal anzupassen. Der Dorn muß mit einer bestimmten Geschwindigkeit rotieren, um sich aus der Innenstruktur selbst wieder herauszuschrauben. Dies erzeugt hohe Reibungskräfte zwischen Dorn und Rohr, die durch die Walzscheiben aufgebracht werden müssen, um den Vorschub des Rohres in Axialrichtung zu bewirken. Ein erheblicher Anteil dieser Reibungskräfte ist parallel zur Rohrachse 33 gerichtet und damit auch nahezu parallel zur Achse der Walzscheiben.

[0008] Es ist bekannt, daß es für bestimmte Anwendungen (z.B. Kältemittelverdampfer und -verflüssiger) vorteilhaft ist, Strukturen mit kleinen Rippenteilungen zu verwenden, um eine Steigerung der Wärmeübertragungsleistung zu erreichen. In der Vergangenheit wurden Rippenteilungen von 1,35 mm (19 Rippen pro Zoll) verwendet. Heutzutage sind Rippenrohre mit Rippenteilungen von ungefähr 0,40 mm kommerziell erhältlich (US-5 697 430 und DE-197 57 526). EP-0 701 100 A1 zeigt auf, daß der Trend sogar zu noch feineren Teilungen (0,25 mm) geht.

[0009] Feinere Rippenteilungen erfordern dünnere Walzscheiben, was bei gleichbleibender Biegewechselbelastung eine erhöhte Bruchgefahr sowie größere Verschleißanfälligkeit des Werkzeugs mit sich bringt. Die Werkzeugstandzeiten werden damit immer kritischer, und häufige Produktionsunterbrechungen wegen Werkzeugwechsel sind die Folge. Ferner nimmt die Produktionsgeschwindigkeit der Walzmaschinen mit kleiner werdender Rippenteilung ab. Gleichzeitig werden aufgrund des weltweiten Wettbewerbs die Produktionskosten zu einem entscheidenden Faktor für den wirtschaftlichen Erfolg bei der Herstellung von strukturierten Rohren.

[0010] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein feinstrukturiertes Rohr zu fertigen, das sowohl auf der Außen- als auch auf der Innenseite einen großen Oberflächenzuwachs besitzt sowie über ein geringes Strukturgewicht verfügt. Die Geometrien von Außen- und Innenstruktur sollen unabhängig von einander anpaßbar sein. Das Rohr muß mit hoher Geschwindigkeit, mit einfachen Werkzeugen und geringem Werkzeugverschleiß hergestellt werden können. Glatte Enden und Zwischenstücke sollen ohne Mehraufwand herstellbar sein.

[0011] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch beidseitig strukturierte Wärmeaustauscherrohre gelöst, die auf der Außenseite Vertiefungen und auf der Innenseite Rippen besitzen, und zwar nach einer ersten Ausführungsform durch ein Wärmeaustauscherrohr mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und nach einer zweiten Ausführungsform durch ein Wärmeaustauscherrohr mit den Merkmalen des nebengeordneten Anspruchs 2.

[0012] Die Ansprüche 3 bis 7 betreffen vorteilhafte Bereiche für Abmessungen der Vertiefungen bzw. eine vorteilhafte Querschnittsform der Innenrippen.

[0013] Gegenstand der Erfindung ist weiterhin ein Verfahren gemäß zweier Varianten nach den Ansprüchen 13 und 14 zur Herstellung der erfindungsgemäßen Wärmeaustauscherrohre.

[0014] Die verwendeten Strukturierungswerkzeuge können so eingestellt werden, daß sie sowohl fluchtende, kontinuierliche Nuten als auch nicht-fluchtende, voneinander beabstandete Vertiefungen erzeugen.

[0015] Durch Verwendung zusätzlicher Werkzeuge können die Vertiefungen modifiziert werden, so daß sekundäre Strukturen an den Flanken oder am Grund der Vertiefungen oder an den Stegen zwischen den Vertiefungen entstehen. Je nach Anwendung können diese sekundären Strukturen die thermische Leistung von Rohren beträchtlich steigern. Dies erfolgt im Wesentlichen durch die Ausnutzung von Oberflächenspannungseffekten.

[0016] Für Verflüssigerrohre ist es günstig, Strukturen zu erzeugen, die konvexe Kanten und im Wesentlichen in Umfangsrichtung verlaufende Kanäle besitzen. Diese Kanäle ermöglichen den Abfluß von Kondensat, das auf dem Rohr selbst oder auf den darüber liegenden Rohren des Rohrbündels entsteht (Ansprüche 8 bis 11, 15/16).

[0017] Für Rohre, die in überfluteten Verdampfern oder Sprühverdampfern eingesetzt werden, ist es vorteilhaft, hinterschnittene Strukturen zu erzeugen, indem die oberen Bereiche der Vertiefungen teilweise verschlossen werden. Dies wird erfindungsgemäß durch zusätzliche Glättungswerkzeuge, die hinter dem eigentlichen Strukturierungswerkzeug auf der Werkzeugwelle angeordnet sind, erreicht (Ansprüche 12/17).

[0018] Die Erfindung wird anhand der folgenden Ausführungsbeispiele näher erläutert.

[0019] Es zeigt

Figur 3 ein erfindungsgemäßes Wärmeaustauscherrohr 1 mit einem glatten Ende 1a, einem Übergangsbereich, in dem die äußere Struktur beginnt, und einem strukturierten Bereich 2, wobei die Vertiefungen 3 als kontinuierliche, fluchtende Nuten geformt sind;

Figur 4 eine detaillierte Ansicht einer einzelnen Vertiefung 3, wobei der Flankenwinkel δ der Vertiefung 3 relativ zur Symmetrieffläche der Vertiefung 3 gemessen wird;

Figur 5 einen Schnitt durch die Vertiefung 3 senkrecht zur Längsrichtung der Vertiefung 3;

Figur 6 das auf einer Werkzeugwelle 14 montierte Rollprofilwerkzeug 10 zur Erzeugung der in Figur 3 gezeigten Außenstruktur;

Figur 7 schematisch den Strukturierungsprozeß;

Figur 8 schematisch ein Rohrstück mit einem glatten Ende 1a, einem Übergangsbereich, in dem die äußere Struktur beginnt, und einem strukturierten Bereich 2, wobei die Vertiefungen 7 beabstandet sind, so daß sie einzelne, nicht fluchtende Vertiefungen 7 bilden;

Figur 9 eine vergrößerte Ansicht von sechs beabstandeten, nicht-fluchtenden Vertiefungen 7;

Figur 10 eine Detailansicht einer Vertiefung 3 mit sekundären Nuten 8 in den Stegen 20, wobei die sekundären Nuten 8 quer zu den primär geformten Vertiefungen 3 angeordnet sind;

Figur 11 eine Gesamtansicht des Werkzeugaufbaus zur Herstellung der Außenstruktur, die in Figur 10 dargestellt ist;

Figur 12 eine Detailansicht eines strukturierten Rohres 1, bei dem die Enden 9 der Stege 20 eingeglättet wurden, um hohlraumartige Kanäle unter der Außenoberfläche zu erzeugen;

Figur 13 eine Gesamtansicht des Werkzeugaufbaus zur Herstellung der Außenstruktur, die in Figur 12 gezeigt ist.

[0020] Ein einstückiges, metallisches Wärmeaustauschrohr 1 gemäß Fig. 3 besitzt glatte Enden 1a und mindestens einen strukturierten Bereich 2 auf der Rohraußen- und Innenseite (ein glattes Ende 1a und evtl. glatte Zwischenbereiche 1b sind nicht dargestellt). Die Struktur 2 besteht aus fluchtenden, kontinuierlichen Vertiefungen 3, die schraubenlinienartig um das Rohr 1 verlaufen. Die Anfänge 6 der Vertiefungen 3 befinden sich auf Linien, die um den Schrägstellungswinkel α gegenüber der Rohrumfangsrichtung geneigt sind. Die Vertiefungen 3 wurden in die Rohraußen- und Innenseite geformt, indem ein oder mehrere rotierende Rollprofilwerkzeuge 10 in die Rohrwand 4 gepreßt werden und das so verdrängte Material der Rohrwand 4 radial nach innen gedrückt wird. Hierdurch nimmt der Innendurchmesser des Rohres 1 ab. Die kontinuierlich fortlaufenden Vertiefungen 3 entstehen durch sukzessives Aneinanderreihen endlich ausgedehnter, zueinander fluchtend angeordneter Einzelvertiefungen, die von den Rollprofilwerkzeugen 10 geformt werden. Der Außendurchmesser des Rohrs 1 darf im strukturierten Bereich 2 nicht größer sein als in den glatten Bereichen (Enden 1a, Zwischenbereiche 1b).

[0021] Das in Fig. 3 dargestellte Rohr 1 besitzt zur Verbesserung des rohrseitigen Wärmeübergangs auf seiner Innenseite zusätzlich schraubenlinienartig umlaufende, trapezförmige Rippen 5, die ebenfalls aus dem Material der Rohrwand 4 geformt wurden. Der Helixwinkel ϵ der Rippen 5 wird gegen die Rohrachse 33 gemessen und liegt üblicherweise zwischen 10° und 50° . Die Höhe H der Rippen 5 kann bis zu 0,60 mm betragen. Größere Rippenhöhen sind fertigungstechnisch schwierig zu beherrschen. Mit einer derartigen Innenstruktur wird ein Flächenzuwachs von bis zu 100% gegenüber einem innen glatten Rohr erzielt. Unabhängig von der Art der Innenstruktur ist im allgemeinen ein Flächenzuwachs von mindestens 20% gegenüber einem innen glatten Rohr für eine deutliche Steigerung des rohrseitigen Wärmeübergangs erforderlich.

[0022] Fig. 4 zeigt eine Detailansicht einer einzelnen kontinuierlichen Vertiefung 3. Die Vertiefungen 3 haben einen im wesentlichen trapezförmigen Querschnitt. Die unbearbeiteten Abschnitte 20 zwischen den Vertiefungen 3 werden Stege genannt. Der Rohraußendurchmesser - gemessen über diese Stege 20 - ist üblicherweise nahezu gleich dem Außendurchmesser der glatten Bereiche 1a, 1b. Der Grund der Vertiefung 3 kann eine eckige, runde, gekrümmte oder eine anderweitige Form haben. Diese Form wird durch die Form der Erhebungen 13 des Rollprofilwerkzeugs 10 bestimmt. Die Form kann dahingehend optimiert werden, daß der Umformprozeß ähnlich der Abrollbewegung von formoptimierten Zahnrädern abläuft. Der Flankenwinkel δ der Vertiefung 3 wird, wie in Fig. 4 dargestellt, gegen die Symmetrieffläche der Vertiefung 3 gemessen.

[0023] In Fig. 5 ist ein Schnittbild der Vertiefungen 3 senkrecht zur Längsrichtung der Vertiefung 3 dargestellt. Die Abmessungen der Vertiefungen 3 sollen so gewählt werden, daß eine möglichst große Außenoberflächen erzielt wird. Insbesondere sollte der Flankenwinkel δ möglichst klein sein, die Tiefe T der Vertiefungen 3 und die Anzahl der Vertiefungen 3 am Umfang sollten möglichst groß sein. Eine Tiefe T von 0,4 mm bis 1,5 mm ist erreichbar. Der bevorzugte Bereich für den Flankenwinkel δ ist zwischen 7° und 25° . Die Teilung P der Vertiefungen 3 wird senkrecht zur Symmetrieffläche gemessen und beträgt vorzugsweise 0,25 mm bis 2,2 mm. Die Weite W der Vertiefungen 3 wird auf halber Tiefe T gemessen. Die Weite W beträgt 60% bis 80% der Teilung P. Folglich ist das Volumen der Vertiefungen 3 größer als das Volumen der Stege 20, was ein geringes Strukturgewicht bewirkt.

[0024] Fig. 6 zeigt eine Darstellung eines Rollprofilwerkzeugs 10, das auf eine Werkzeugwelle 14 montiert ist und zur Herstellung von fluchtenden, kontinuierlichen Nuten ausgelegt ist. Das Rollprofilwerkzeug 10 besitzt auf seinem Umfang eine Anzahl von regelmäßigen, trapezförmigen Erhebungen 13 ähnlich einem Zahnrad. Die Erhebungen 13 verlaufen helixartig mit einem Drallwinkel β gemessen gegen die Achse des Werkzeugs 10. Um den Werkzeugverschleiß in der vorderen Bearbeitungszone des Werkzeugs 10 gering zu halten ist es vorteilhaft, das Rollprofilwerkzeug 10 teilweise mit einem Konus 11 zu versehen. Ferner kann es günstig sein, den strukturierten Konus 11 des Rollprofilwerkzeugs 10 um einen glatten konischen Bereich zu ergänzen. Der zylindrische Teil 12 des Rollprofilwerkzeugs 10 besitzt die Dicke s. Üblicherweise besitzen die Produktionsmaschinen drei oder vier Werkzeugwellen 14, die wie ein gleichseitiges Drei- bzw. Viereck gleichmäßig um den Rohrumfang herum angeordnet sind. Während des Bearbeitungsvorgangs sind die Werkzeugwellen 14 gegenüber der Rohrachse 33 schräg angestellt. Der Schrägstellungswinkel α ist inhärenterweise gleich dem Winkel α , den die Linien, auf denen die Anfänge 6 der Vertiefungen 3 liegen, mit der Umfangsrichtung des Rohres einschließen, wie der Fig. 3 zu entnehmen ist.

[0025] Der Strukturierungsprozeß ist schematisch in Fig. 7 gezeigt. Rohr und Rollprofilwerkzeug 10 sind hierbei im Längsschnitt dargestellt. Als Ausgangsrohr wird ein Glattrohr 1' durch das rotierende Rollprofilwerkzeug 10 in Rotation versetzt und entsprechend der Schrägstellung des Werkzeugs in Axialrichtung vorgeschoben. Die Bewegungsrichtung

des Rohres in Axialrichtung ist durch einen Pfeil angedeutet. Wenn das Glatrohr 1' in die Umformzone unter dem Rollprofilwerkzeug 10 tritt, werden Vertiefungen 3 auf der Rohraußenseite geformt und der Innendurchmesser reduziert. Das Material der Rohrwand 4 wird auf den innenliegenden, strukturierten Dorn 15 gepreßt. Der Dorn 15 ist drehbar gelagert, um sich der Rotation des Rohres anzupassen. Im strukturierten Bereich 2 ist die verbleibende Wanddicke des Rohrs 1 (gemessen zwischen Außen- und Innenstruktur) notwendigerweise kleiner als die Wanddicke des Glatrohrs 1', da sowohl die Innen- als auch Außenstruktur aus dem Wandungsmaterial des Glatrohrs 1' geformt werden.

[0026] Es muß sichergestellt werden, daß die von jedem Rollprofilwerkzeug 10 geformten Einzelvertiefungen zu einander fluchtend angeordnet sind, um durch sukzessives Aneinanderreihen endlich ausgedehnter Einzelvertiefungen kontinuierlich fortlaufende Vertiefungen 3 zu erzeugen. Dies wird erreicht, indem der Schrägstellungswinkel α auf die Teilung P der Vertiefungen 3, die Anzahl n_R der Vertiefungen 3 am Rohrumfang, den Kerndurchmesser D_{core} des Rohrs 1 (gemessen am Grund der Vertiefungen 3) und den Drallwinkel β des Rollprofilwerkzeugs 10 gemäß der folgenden Gleichung abgestimmt wird:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{P \cdot n_R}{\pi \cdot D_{core}}\right) - \beta \quad (Gl. 1)$$

[0027] Ferner muß die Dicke s des zylindrischen Teils 12 des Rollprofilwerkzeugs 10 folgendes Mindestmaß besitzen, damit die Vertiefungen 3 ohne Unterbrechung fortlaufen:

$$s \geq \frac{1}{m} \cdot \pi \cdot D_{core} \cdot \sin(\alpha) \quad (Gl.2)$$

m ist hierbei die Anzahl der um das Rohr herum angeordneten Walzwellen 14.

[0028] Der Steigungswinkel γ der Vertiefungen 3 wird gegen die Rohrachse 33 gemessen und ist gleich der Summe des Schrägstellungswinkels α und des Drallwinkels β des Rollprofilwerkzeugs, wie in Fig. 3 dargestellt ist. γ liegt im Bereich zwischen 0° und 70°.

[0029] Um die Geschwindigkeit des Strukturierungsprozesses zu maximieren ist es günstig, den Schrägstellungswinkel α des Werkzeugs 10 möglichst groß zu wählen. Um der oben genannten Gleichung Gl. 1 zu genügen, kann bei gegebener Strukturgeometrie der Drallwinkel β des Rollprofilwerkzeugs 10 angepaßt werden. In der Praxis können bei Anwendung des beschriebenen Verfahren Schrägstellungswinkel α zwischen 5° und 15° erreicht werden. Größere Schrägstellungswinkel würden noch höhere Produktionsgeschwindigkeiten zulassen. Strukturierte Rohre, die gemäß US-5 697 430 oder DE-197 57 526 nach dem herkömmlichen Berippungsverfahren hergestellt werden, benötigen bei einer Rippenteilung von ca. 0,4 mm je nach Anzahl der eingesetzten Werkzeugwellen 14 und je nach Rohrdurchmesser typischerweise Schrägstellungswinkel α zwischen 1,5° und 2,5°. Dies zeigt den Vorteil des erfindungsgemäßen Herstellverfahrens bezüglich Produktionsgeschwindigkeit.

[0030] Glatte Zwischenbereiche 1b können wahlweise erzeugt werden, indem die Rollprofilwerkzeuge 10 außer Eingriff mit dem Glatrohr 1' gebracht werden (vgl. beispielsweise DE-A 1.452.247).

[0031] Fig. 8 zeigt schematisch eine Darstellung eines erfindungsgemäß strukturierten Rohres 1 mit voneinander beabstandeten, nicht-fluchtenden Vertiefungen 7. Die Vertiefungen 7 besitzen die Länge L. Es ist der Übergangsbereich zwischen glattem Ende 1a und strukturiertem Bereich 2 dargestellt. Die Vertiefungen 7 ordnen sich in separierten Reihen an, die schraubenlinienartig um das Rohr 1 laufen. Eine derartige Reihe wird "Spur" genannt. Jedes um das Rohr 1 angeordnete Rollprofilwerkzeug 10 formt eine eigene Spur. Um den Oberflächengewinn zu maximieren, sollten benachbarte Spuren so eng wie möglich angeordnet sein.

[0032] Die in Fig. 8 dargestellten, beabstandeten Vertiefungen 7 werden geformt, indem ein Rollprofilwerkzeug 10 ohne konischen Teil 11 verwendet wird. Das Rollprofilwerkzeug 10 besteht nur aus einem zylindrischen Teil 12 der Dicke s. Die endliche Länge L der beabstandeten Vertiefungen 7 hängt von der Dicke s des Rollprofilwerkzeugs 10 und dem Drallwinkel β der Erhebungen 13 auf dem Rollprofilwerkzeug 10 wie folgt ab:

$$L = s / \cos \beta \quad (Gl. 3)$$

[0033] Um zu verhindern, daß sich die Spuren der einzelnen Rollprofilwerkzeuge 10 überschneiden, muß der Schrägstellungswinkel α geeignet gewählt werden:

$$\alpha > \arcsin\left(\frac{s \cdot m}{D_{\text{core}} \cdot \pi}\right) \quad (\text{Gl. 4})$$

wobei m die Anzahl der um das Rohr 1 angeordneten Werkzeugwellen 14 und D_{core} der Kerndurchmesser des Rohres 1 ist. Falls der Schrägstellungswinkel α aus konstruktiven Gründen nach oben beschränkt ist, wird die maximale Dicke des Rollprofilwerkzeugs 10 durch folgende Gleichung bestimmt:

$$s < \frac{1}{m} \cdot \pi \cdot D_{\text{core}} \cdot \sin(\alpha) \quad (\text{Gl. 5})$$

[0034] Fig. 9 zeigt eine vergrößerte Ansicht der beabstandeten, nicht-fluchtenden Vertiefungen 7 von Fig. 8. Benachbarte Vertiefungen 7 einer Spur sind durch Stege 20 getrennt. Ein dünner Rohrabschnitt 21 zwischen benachbarten Spuren bleibt unverformt. Über die unverformten Abschnitte 21 und Stege 20 gemessen besitzt das Rohr 1 nahezu den gleichen Außendurchmesser wie die glatten Bereiche 1a, 1b. Die Vertiefungen 7 haben im wesentlichen trapezförmigen Querschnitt. Der Grund der Vertiefung 7 kann eine eckige, runde, gekrümmte oder eine anderweitige Form haben. Diese Form wird durch die Form der Erhebungen 13 des Rollprofilwerkzeugs 10 bestimmt.

[0035] Das Schnittbild der beabstandeten Vertiefungen 7 ist mit dem Schnittbild der fluchtenden, kontinuierlichen Vertiefungen 3, das in Fig. 5 dargestellt ist, identisch. Für die geometrischen Abmessungen der Vertiefungen 7 gilt im Fall der beabstandeten Vertiefungen 7 dasselbe wie im Fall der fluchtenden, kontinuierlichen Vertiefungen 3. Insbesondere gelten die Beziehungen, die im Zusammenhang mit Fig. 5 genannt wurden. Damit ergeben sich in beiden Fällen ähnlich günstige Eigenschaften des Rohres 1 bezüglich Oberflächengewinn und Strukturgewicht.

[0036] Die Übertragungsleistung des erfindungsgemäßen Wärmeaustauscherrohres 1 kann weiter gesteigert werden, indem man Oberflächenspannungseffekte ausnutzt. Es ist bekannt, daß bei Rohren für Verflüssiger konvexe Kanten zur Verdünnung des Kondensatfilms führen. Die Dichte der konvexen Kanten wird durch sekundäre Nuten 8, die im wesentlichen quer zu den primär geformten Vertiefungen 3, 7 eingepreßt sind, beträchtlich erhöht. Eine so modifizierte Struktur ist in Fig. 10 vergrößert dargestellt. Das durch das Einprägen der sekundären Nuten 8 verdrängte Material des Stegs 20 bildet Auskragungen 22, die im wesentlichen quer zu den primär geformten Vertiefungen 3, 7 angeordnet sind. Die Ränder 23 dieser Auskragungen 22 stellen einen Teil der gewünschten, zusätzlichen konvexen Kanten dar. Der zur Struktur von Fig. 10 gehörende Werkzeugaufbau ist in Fig. 11 gezeigt und besteht aus einem primären Rollprofilwerkzeug 10 und einer sekundären Kerbscheibe 16, die voneinander beabstandet auf der Werkzeugwellen 14 angeordnet sind. Die sekundäre Kerbscheibe 16 besitzt auf ihrem Umfang eine Anzahl von regelmäßigen Erhebungen 17 ähnlich einem Zahnrad. Die Erhebungen 17 verlaufen helixartig mit einem Drallwinkel β' gemessen gegen die Achse der Kerbscheibe 16. Die Tiefe E der sekundären Nuten 8 sollte 20% bis 80% der Tiefe T der primären Vertiefungen 3, 7 betragen, dementsprechend ist der Durchmesser der Kerbscheibe 16 kleiner zu wählen als der Durchmesser des Rollprofilwerkzeugs 10. Die Teilung sollte $K = 0,25$ bis $2,2$ mm betragen. Der Winkel ϕ , den die primären Vertiefungen 3, 7 mit den sekundären Nuten 8 einschließen, wird durch den Drallwinkel β der Erhebungen 12 des Rollprofilwerkzeugs 10 und den Drallwinkel β' der Erhebungen 17 der Kerbscheibe 16 festgelegt. ϕ kann zwischen 20° und 160° betragen.

[0037] Es ist ein inhärenter Vorteil der Erfindung, daß der Hauptumformschritt, bei dem - wie in Fig. 7 dargestellt - die primäre Außenstruktur und die Innenstruktur gleichzeitig gebildet werden, durch ein relativ grobes Rollprofilwerkzeug 10 ausgeführt werden kann. Die sekundäre Struktur, die üblicherweise sehr viel feiner als die primäre ist, wird nicht aus der Rohrwand 4 geformt, sondern nur aus den Stegen 20. Dies bedeutet, daß die Menge des im Feinstrukturierungsschritt umzuformenden Materials sehr viel geringer ist als bei herkömmlichen Herstellungsverfahren, bei denen feine Rippen mit feinen Werkzeugen direkt aus der massiven Rohrwand geformt werden. Dies wirkt sich günstig auf die Lebensdauer des Werkzeugs aus.

[0038] Man erhält eine abgewandelte Struktur, wenn man die sekundären Nuten 8 mittels einer Anzahl von dünnen Walzscheiben (nicht dargestellt) konstanten Durchmessers erzeugt, wobei die Walzscheiben als Paket anstelle der sekundären Kerbscheibe 16 nach dem Rollprofilwerkzeug 10 auf der Werkzeugwelle 14 aufgebaut werden. In diesem Fall ist die Richtung der sekundären Nuten 8 parallel zur Senkrechten auf die Achse der Werkzeugwelle 14. Da der Schrägstellungswinkel α ungefähr 10° ist, sind diese sekundären Nuten 8 somit nur um diesen relativ geringen Winkelbetrag gegenüber der Senkrechten zur Rohrachse 33 geneigt. Bei einer horizontalen Rohranordnung haben derartige sekundäre Nuten 8 den Vorteil, daß von oben herabtropfendes Kondensat wie in nahezu senkrechten Kanälen gut nach unten abgeleitet wird.

[0039] Es ist bekannt, daß der Vorgang des Blasensiedens deutlich intensiviert werden kann, wenn hinterschnittene, kavernenartige Strukturen auf der Rohroberfläche gebildet werden. Diese Kavernen oder auch Tunnel sind durch

Öffnungen oder Poren mit dem umgebenden Fluid verbunden ("hinterschnitten" bedeutet in diesem Zusammenhang, daß die Öffnung der Kavemen kleiner ist als der darunter liegende Hohlraum). Der wesentliche Teil der Verdampfung findet in diesen Kavemen oder Tunneln statt. Flüssigkeit dringt durch die Poren in die Hohlräume ein. Der erzeugte Dampf entweicht durch die Poren.

[0040] Hinterschnittene Kavemen bzw. Tunnels werden erfindungsgemäß durch teilweises Verschließen des oberen Bereichs der Vertiefungen 3, 7 erzeugt. Die unter der äußeren Oberfläche liegenden Hohlräume sind dann durch Öffnungen oder Poren mit dem umgebenden Fluid verbunden.

[0041] Fig. 12 zeigt in vergrößerter Darstellung einen Ausschnitt eines strukturiertes Rohrs 1, bei dem die Enden 9 von benachbarten, mit sekundären Nuten 8 versehenen Stegen 20 eingeglättet wurden. Die eingeglätteten Enden 9 bilden einen teilweise geschlossenen Deckel über der Vertiefung 3. Auf diese Weise wird ein System von unter der äußeren Rohroberfläche liegenden Hohlräumen, die mit der Umgebung durch schmale Öffnungen 24 verbunden sind, erzeugt. Es ist vorteilhaft, für die sekundären Nuten 8 eine feinere Teilung zu verwenden als für die primären Vertiefungen. Fig. 13 zeigt einen Werkzeugaufbau zur Herstellung derartiger Strukturen. Eine zylindrische Glattscheibe 18 konstanten Durchmessers ist auf der Werkzeugwelle 14 hinter der Kerbscheibe 16 angeordnet. Der Durchmesser der Glattscheibe 18 ist kleiner als der Durchmesser des Rollprofilwerkzeugs 10.

[0042] Ähnliche Strukturen erhält man durch teilweises Verschließen von nicht-fluchtenden, voneinander beabstandeten Vertiefungen 7.

[0043] Das Verschließen der Vertiefungen 3, 7 bewirkt eine Reduktion des äußeren Rohrdurchmessers. Dies kann jedoch kontrolliert werden, indem der primäre Strukturierungsschritt so gesteuert wird, daß nicht alles auf der Rohraußenseite verdrängte Material auf der Innenseite des Rohres zur Bildung der Innenstruktur benötigt werden kann. Hierzu wird ein Rollprofilwerkzeug 10 mit großer Verdrängung sowie ein profilierter Dom 15 mit schmalen Nuten verwendet. Ferner muß der Durchmesser des Dorns geeignet gewählt werden. Die Stege 20 zwischen den Vertiefungen 3, 7 werden dann in Radialrichtung nach außen herausgeformt, was verglichen mit dem Glattrohr 1' zwischenzeitlich einen größeren Rohrdurchmesser in diesem Rohrbereich ergibt. Anschließend werden die sekundären Nuten 8 geformt und die resultierenden Enden 9 der Stege 20 werden eingeglättet, um die Vertiefungen 3, 7 teilweise zu verschließen. Werden die Verfahrensparameter wie dargestellt gewählt werden, dann kann der endgültige Außendurchmesser im strukturierten Bereich 2 kleiner oder gleich dem Außendurchmesser an den unbearbeiteten, glatten Enden 1a sein.

[0044] Die vorangegangenen Abschnitte zeigen die große Flexibilität der vorgeschlagenen Technik, um wärmeübertragungssteigernde Strukturen auf Rohroberflächen herzustellen. Das Verfahren kann sowohl auf nahtlose, gezogene Rohre wie auch auf geschweißte Rohre, die aus eingeformten Metallbändern gefertigt wurden, angewendet werden. Die vorgeschlagenen Rohre und Verfahren basieren aber immer auf der Strukturierung von Rohren und nicht von Bändern.

Zahlenbeispiel:

[0045] Gemäß dem beschriebenen Verfahren wurden beidseitig strukturierte Kupferrohre 1 mit einem Kerndurchmesser D_{core} von 17,80 mm hergestellt. Die Außenstruktur besteht aus 36 fluchtenden, kontinuierlichen Vertiefungen 3. Dem Rollprofilwerkzeug 10 lagen folgende geometrischen Daten zugrunde:

Flankenwinkel δ	10°
Drallwinkel β	57°
Teilung P	0,67 mm
Weite W	0,40 mm

[0046] Der Schrägstellungswinkel α der Walzwellen 14 mußte auf 7,5° eingestellt werden. Entsprechend ergibt sich der Steigungswinkel γ der Nuten zu 64,5°. Die Tiefe T der Vertiefungen 3 beträgt 0,7 mm. Die Innenstruktur besteht aus 41 trapezförmigen Rippen 5, die unter einem Steigungswinkel ϵ von 45° schraubenlinienartig umlaufen. Die Höhe H der Innenrippen 5 beträgt 0,35 mm. Die sekundären Nuten 8 wurden mit einem Paket aus Walzscheiben der Teilung 0,35 mm hergestellt. Die so erzeugte Rohrstruktur zeigt bei Verflüssigung des Kältemittels R-134a auf der Außenseite und Kühlwasserströmung auf der Rohrinenseite gute Wärmeübertragungseigenschaften. Abhängig von den physikalischen Eigenschaften des Fluids sollte die Teilung K der sekundären Nuten 8 zwischen 0,25 mm und 2,2 mm liegen.

Patentansprüche

1. Wärmeaustauscherrohr (1) mit wahlweise glatten Enden (1a), mindestens einem strukturierten Bereich (2) auf der Rohraußen- und Rohrinenseite und wahlweise glatten Zwischenbereichen (1b), wobei der Außendurchmesser

des strukturierten Bereichs (2) nicht größer ist als der Außendurchmesser der glatten Enden (1a) bzw. der glatten Zwischenbereiche (1b), das folgende Merkmale aufweist:

- 5 a) auf der Rohraußenseite laufen Vertiefungen (3) mit im wesentlichen trapezförmigem Querschnitt schraubenlinienförmig unter einem Steigungswinkel $\gamma = 0^\circ$ bis 70° um (gemessen gegen die Rohrachse (33));
- b) die Teilung P der Vertiefungen (3) beträgt $P = 0,25$ bis $2,2$ mm (gemessen senkrecht zu deren Symmetrieffläche) ;
- 10 c) die Breite W der Vertiefungen (3) beträgt $W = 0,6 P$ bis $0,8 P$ (gemessen bei der halben Tiefe T der Vertiefungen (3));
- d) der Flankenwinkel δ der Vertiefungen (3) beträgt $\delta = 7^\circ$ bis 25° (gemessen gegen deren Symmetrieffläche);
- 15 e) auf der Rohrrinnenseite laufen Rippen (5) mit einer Höhe $H = 0,15$ bis $0,60$ mm schraubenlinienförmig unter einem Steigungswinkel $\epsilon = 10^\circ$ bis 50° um (gemessen gegen die Rohrachse (33)).

- 2. Wärmeaustauscherrohr (1) mit wahlweise glatten Enden (1a), mindestens einem strukturierten Bereich (2) auf der Rohraußen- und Rohrrinnenseite und wahlweise glatten Zwischenbereichen (1b), wobei der Außendurchmesser des strukturierten Bereichs (2) nicht größer ist als der Außendurchmesser der glatten Enden (1a) bzw. der glatten Zwischenbereiche (1b), das folgende Merkmale aufweist:

- 25 a) auf der Rohraußenseite sind voneinander beabstandete Vertiefungen (7) im wesentlichen trapezförmigen Querschnitts mit einer Länge L von maximal 10 % des Rohrumfangs unter einem Steigungswinkel $\gamma = 0^\circ$ bis 70° zur Rohrachse (33) geneigt;
- b) die Teilung P der Vertiefungen (7) beträgt $P = 0,25$ bis $2,2$ mm (gemessen senkrecht zu deren Symmetrieffläche);
- 30 c) die Breite W der Vertiefungen (7) beträgt $W = 0,6 P$ bis $0,8 P$ (gemessen bei der halben Tiefe T der Vertiefungen (7));
- d) der Flankenwinkel δ der Vertiefungen (7) beträgt $\delta = 7^\circ$ bis 25° (gemessen gegen deren Symmetrieffläche) ;
- 35 e) auf der Rohrrinnenseite laufen Rippen (5) mit einer Höhe $H = 0,15$ bis $0,60$ mm schraubenlinienförmig unter einem Steigungswinkel $\epsilon = 10^\circ$ bis 50° um (gemessen gegen die Rohrachse (33)).

- 3. Wärmeaustauscherrohr nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge L der beabstandeten Vertiefungen (7) $L = 1$ bis 4 mm beträgt.
- 40 4. Wärmeaustauscherrohr nach Anspruch 1, 2, oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Tiefe T der Vertiefungen (3, 7) $T = 0,4$ bis $1,5$ mm beträgt.
- 5. Wärmeaustauscherrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Steigungswinkel γ der Vertiefungen (3, 7) $\gamma = 15^\circ$ bis 60° beträgt.
- 45 6. Wärmeaustauscherrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Flankenwinkel δ der Vertiefungen (3, 7) $\delta = 9^\circ$ bis 15° beträgt.
- 50 7. Wärmeaustauscherrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Rippen (5) auf der Rohrrinnenseite einen im wesentlichen trapezförmigen Querschnitt aufweisen.
- 8. Wärmeaustauscherrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Rohraußenseite quer zu den Vertiefungen (3, 7) unter einem Kerbwinkel $\phi = 20^\circ$ bis 160° sekundäre Nuten (8) verlaufen.
- 55 9. Wärmeaustauscherrohr nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Kerbwinkel $\phi = 30^\circ$ bis 150° beträgt.

10. Wärmeaustauscherrohr nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Tiefe E der sekundären Nuten (8) $E = 0,2 T$ bis $0,8 T$ der Tiefe der Vertiefungen (3, 7) beträgt.

11. Wärmeaustauscherrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 8 bis 10 dadurch gekennzeichnet, daß die Teilung K der sekundären Nuten (8) $K = 0,25$ bis $2,2$ mm beträgt.

12. Wärmeaustauscherrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Enden (9) der zwischen den Vertiefungen (3, 7) befindlichen Stege (20) geglättet sind.

13. Verfahren zur Herstellung eines Wärmeaustauscherrohres (1) nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 und 4 bis 7, bei dem folgende Verfahrensschritte durchgeführt werden:

a) auf der Außenseite eines Glattrohres (1') werden schraubenlinienförmig verlaufende Vertiefungen (3) geformt, indem Material der Rohrwand (4) mittels zahnradartiger Rollprofilwerkzeuge (10) unter Bildung auf der Rohrinneenseite schraubenlinienförmig verlaufender Rippen (5) radial nach innen verdrängt wird, wobei

b) die Rollprofilwerkzeuge (10) um den Rohrumfang angeordnet werden,

c) Rollprofilwerkzeuge (10) mit zylindrischem Teil (12) verwendet werden, deren trapezförmige Erhebungen (13) unter einem Drallwinkel β helixartig zur Werkzeugachse verlaufen,

d) die Werkzeugwellen (14) der Rollprofilwerkzeuge (10) unter einem Schrägstellungswinkel α gegenüber der Rohrachse (33) schräg gestellt werden, wobei α nach der folgenden Gleichung ausgewählt wird:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{P \cdot n_R}{\pi \cdot D_{core}}\right) - \beta \quad (\text{Gl. 1})$$

mit:

n_R = Anzahl der Vertiefungen (3) am Rohrumfang,
 D_{core} = Kerndurchmesser des Rohres (1) - gemessen am Grund der Vertiefungen (3) -

e) die Dicke s des zylindrischen Teils (12) der Rollprofilwerkzeuge (10) nach der folgenden Gleichung ausgewählt wird:

$$s \geq \frac{1}{m} \cdot \pi \cdot D_{core} \cdot \sin(\alpha) \quad (\text{Gl.2})$$

mit:

m = Anzahl der um das Rohr (1') angeordneten Werkzeugwellen (14),

f) die in Rotation versetzten Rollprofilwerkzeuge (10) in einer Umformzone mit dem Glattrohr (1') in Eingriff gebracht werden, wodurch das Rohr (1') ebenfalls rotiert und entsprechend der Schrägstellung der Rollprofilwerkzeuge (10) in Axialrichtung vorgeschoben wird, und

g) die Rohrwand (4) in der Umformzone durch einen im Rohr (1') liegenden, drehbaren, profilierten Dorn (15) abgestützt wird.

14. Verfahren zur Herstellung eines Wärmeaustauscherrohres nach einem oder mehreren der Ansprüche 2 bis 7, bei dem folgende Verfahrensschritte durchgeführt werden:

a) auf der Außenseite eines Glattrohres (1') werden voneinander beabstandete, gegenüber der Rohrachse (33) geneigte Vertiefungen (7) geformt, indem Material der Rohrwand (4) mittels zahnradartiger Rollprofilwerkzeuge (10) unter Bildung auf der Rohrinneenseite schraubenlinienförmig verlaufender Rippen (5) radial nach innen verdrängt wird, wobei

b) die Rollprofilwerkzeuge (10) um den Rohrumfang angeordnet werden,

c) zylindrische Rollprofilwerkzeuge (10) verwendet werden, deren trapezförmige Erhebungen (13) unter einem Drallwinkel β helixartig zur Werkzeugachse verlaufen,

d) die Werkzeugwellen (14) der Rollprofilwerkzeuge (10) unter einem Schrägstellungswinkel α gegenüber der Rohrachse (33) schräg gestellt werden,

e) die Dicke s der zylindrischen Rollprofilwerkzeuge (10) nach der folgenden Gleichung ausgewählt wird:

$$s < \frac{1}{m} \cdot \pi \cdot D_{core} \cdot \sin(\alpha) \quad (Gl.5)$$

mit:

m = Anzahl der um das Rohr (1') angeordneten Werkzeugwellen (14),
 D_{core} = Kerndurchmesser des Rohres (1) - gemessen am Grund der Vertiefungen (7)

f) die in Rotation versetzten Rollprofilwerkzeuge (10) in einer Umformzone mit dem Glattrohr (1') in Eingriff gebracht werden, wodurch das Rohr (1') ebenfalls rotiert und entsprechend der Schrägstellung der Rollprofilwerkzeuge (10) in Axialrichtung vorgeschoben wird, und

g) die Rohrwand (4) in der Umformzone durch einen im Rohr (1') liegenden, drehbaren, profilierten Dorn (15) abgestützt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14 zur Herstellung eines Wärmeaustauscherrohres (1) nach einem oder mehreren der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Enden (9) der zwischen den Vertiefungen (3, 7) befindlichen Stege (20) durch eine zahnradartige Kerbscheibe (16) abschnittsweise eingedrückt werden.

16. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14 zur Herstellung eines Wärmeaustauscherrohres (1) nach einem oder mehreren der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Enden (9) der zwischen den Vertiefungen (3, 7) befindlichen Stege (20) durch Walzscheiben abschnittsweise eingedrückt werden.

17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, zur Herstellung eines Wärmeaustauscherrohres (1) nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Enden (9) der Stege (20) durch radialen Druck mittels einer Glattscheibe (18) verformt werden.

Fig.1

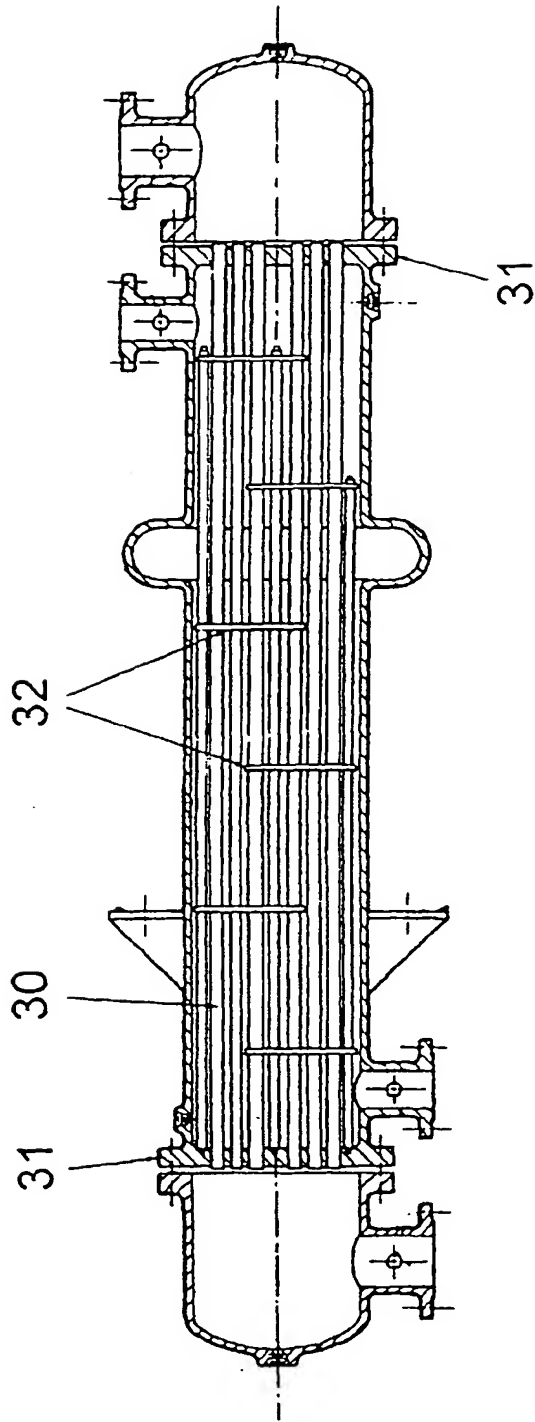


Fig.2

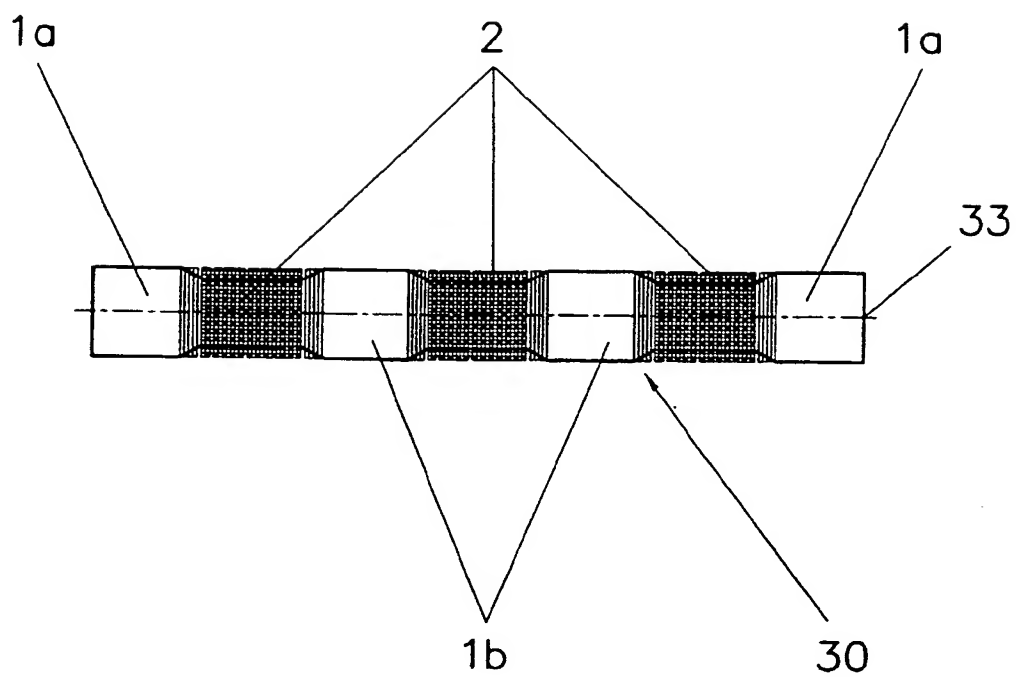


Fig.3

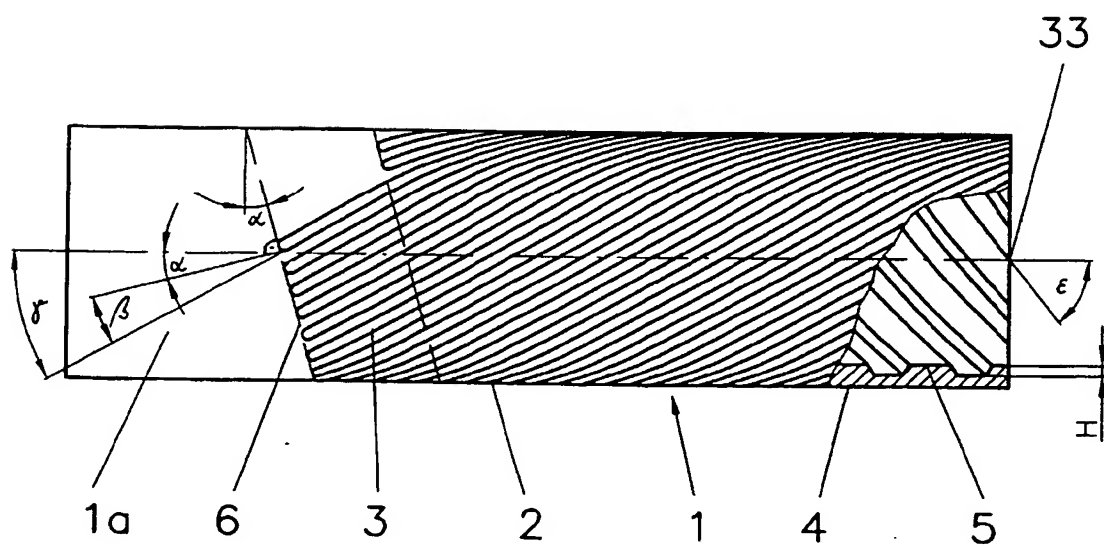


Fig.4

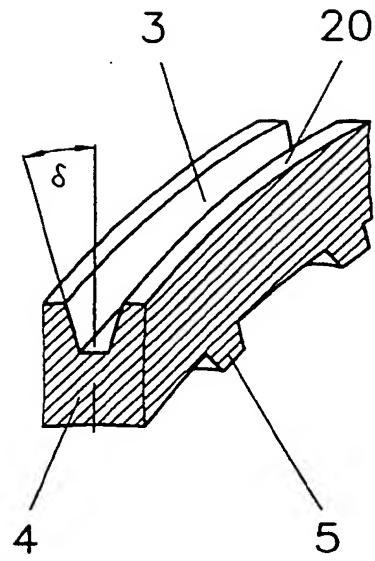


Fig.5

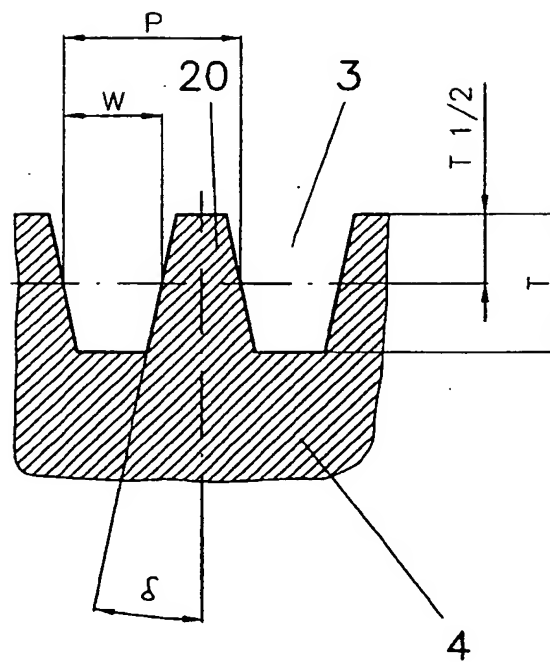


Fig.6

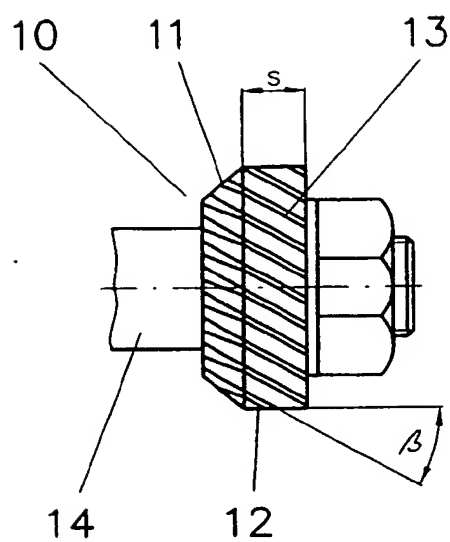


Fig.7

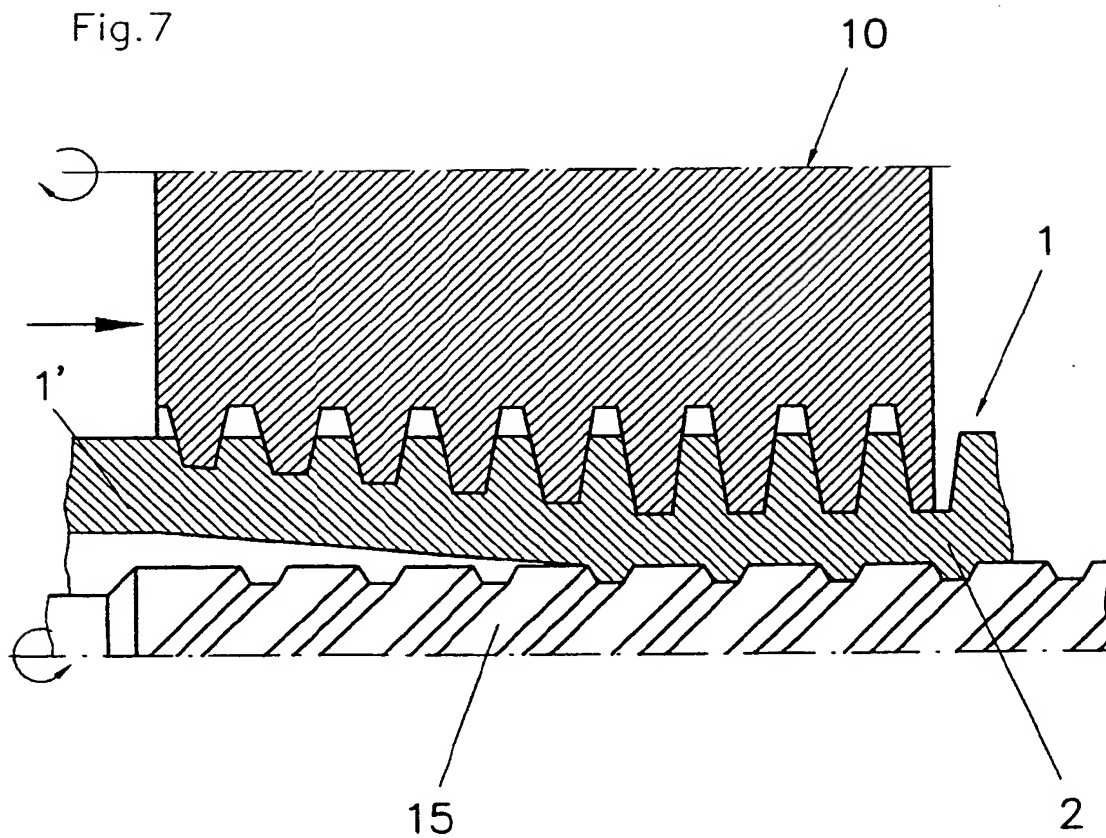


Fig.8

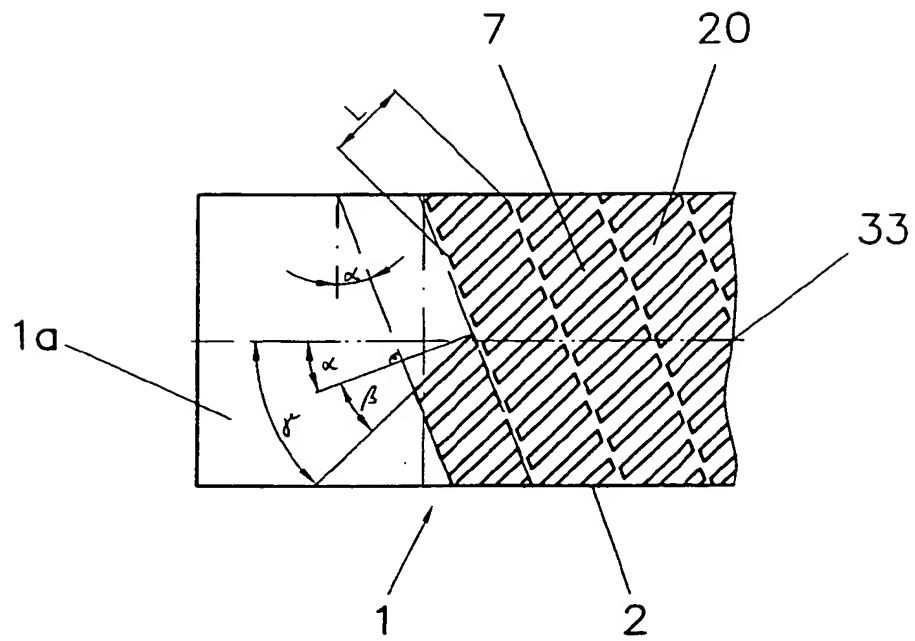


Fig.9

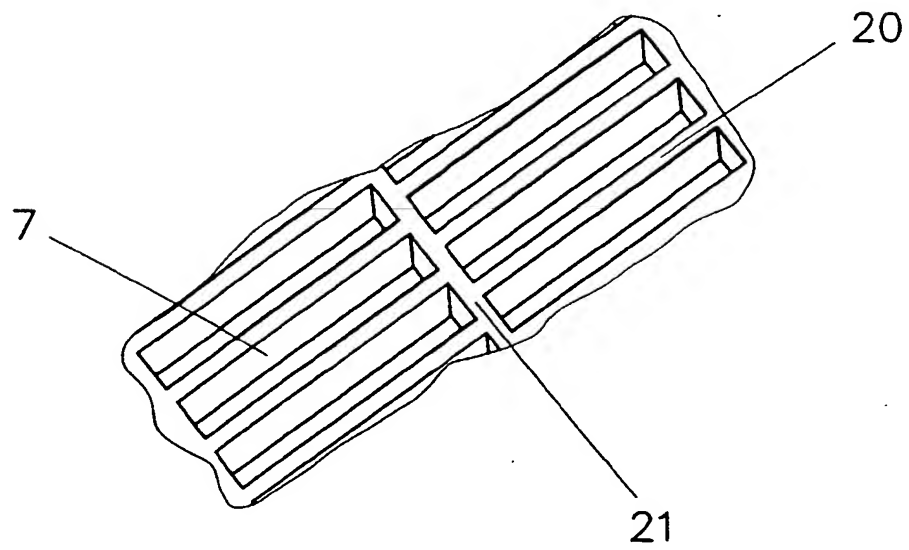


Fig.10

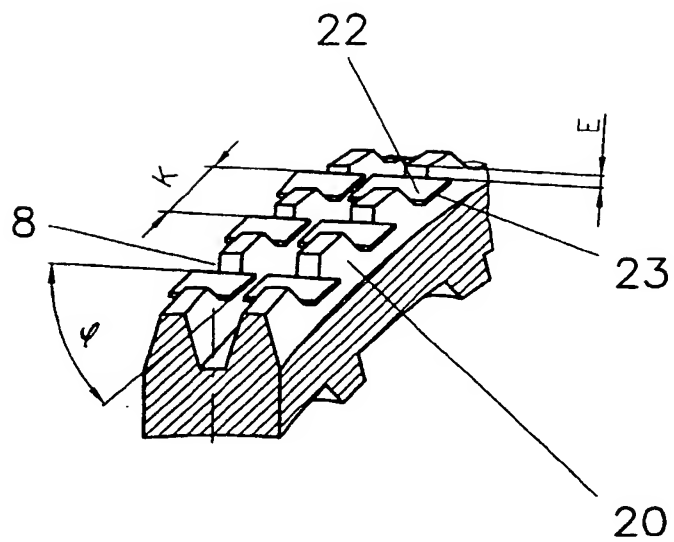


Fig.11

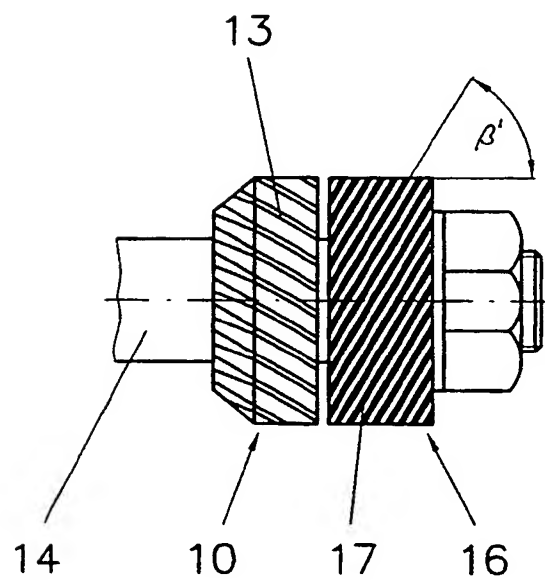


Fig.12

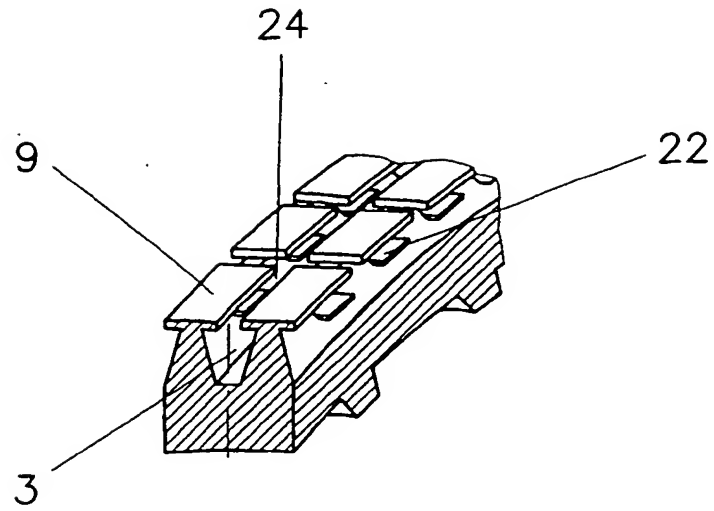
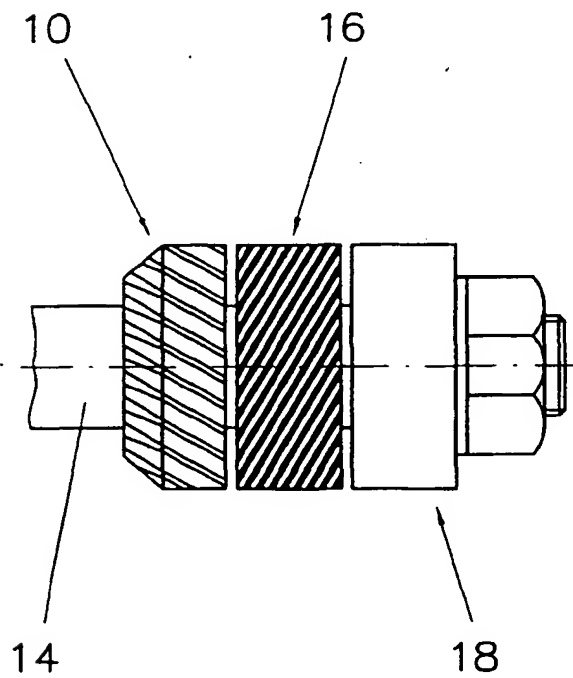


Fig.13



THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 113 237 A3

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(88) Veröffentlichungstag A3:
08.10.2003 Patentblatt 2003/41

(51) Int Cl.7: **F28F 1/42, B21C 37/20**

(43) Veröffentlichungstag A2:
04.07.2001 Patentblatt 2001/27

(21) Anmeldenummer: 00126816.8

(22) Anmeldetag: 07.12.2000

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstattungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 28.12.1999 DE 19963353

(71) Anmelder: **Wieland-Werke AG**
89070 Ulm (DE)

(72) Erfinder:
• **Beutler, Andreas, Dr.**
89264 Weissenhorn (DE)
• **Fetzer, Günter**
89195 Staig (DE)
• **Lutz, Ronald, Dipl.-Ing. (FH)**
89143 Blaubeuren (DE)
• **Schütz, Gerhard, Dr.-Ing.**
89269 Vöhringen (DE)
• **Schwitala, Andreas, Dipl.-Ing.**
89186 Illerrieden (DE)

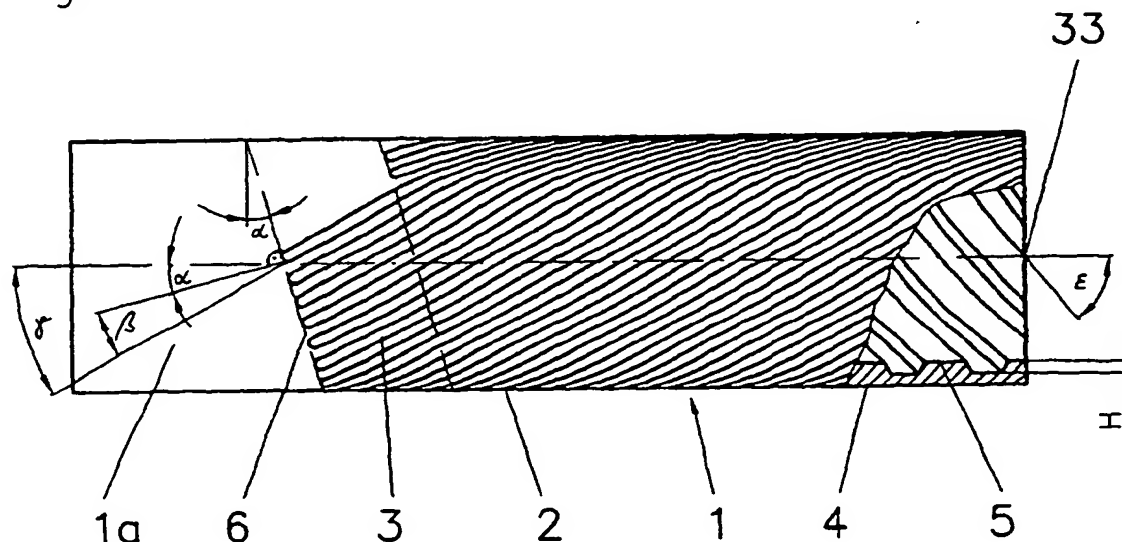
(54) **Beidseitig strukturiertes Wärmeaustauscherrohr und Verfahren zu dessen Herstellung**

(57) Die Erfindung betrifft beidseitig strukturierte Wärmeaustauscherrohre (1) mit ausgezeichneten Wärmeübertragungseigenschaften, die auf der Außenseite Vertiefungen (3, 7) und auf der Innenseite Rippen (5) bestimmter Abmessungen aufweisen.

Die für verschiedene Verfahrensvarianten verwendeten Strukturierungswerkzeuge werden so eingestellt,

daß sie nicht nur fluchtende, kontinuierliche Nuten (3) und nicht-fluchtende, voneinander beabstandete Vertiefungen (7) sondern auch sekundäre Strukturen erzeugen können. Die vorzugsweise mit glatten Enden (1a) und glatten Zwischenstücken (1b) versehenen Wärmeaustauscherrohre (1) werden insbes. in Rohrbündelwärmeaustauschern eingesetzt (Fig. 3).

Fig.3



EP 1 113 237 A3



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 00 12 6816

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	CN 1 230 672 A (SANYO ELECTRIC CO) 6. Oktober 1999 (1999-10-06)	1,4,5, 7-9,11, 13	F28F1/42 B21C37/20
Y	* Abbildungen *	12,15-17	
A	-& US 6 098 420 A (FURUKAWA) 8. August 2000 (2000-08-08) * Spalte 6, Zeile 4 - Spalte 11, Zeile 16; Ansprüche; Abbildungen *	2,6,10	
Y	DE 197 57 526 C (WIELAND WERKE AG) 29. April 1999 (1999-04-29) * das ganze Dokument *	12,15-17	
A	US 5 996 686 A (CAMPBELL BONNIE J ET AL) 7. Dezember 1999 (1999-12-07) * das ganze Dokument *	1,2,13, 14	
A	US 5 992 512 A (NISHIZAWA TAKESHI ET AL) 30. November 1999 (1999-11-30) * Zusammenfassung; Ansprüche; Abbildungen *	1,2,13, 14	
	* Spalte 46, Zeile 65 - Spalte 47, Zeile 65; Abbildungen 30,31 *		RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
A	US 3 383 893 A (COUNTS THOMAS G) 21. Mai 1968 (1968-05-21) * das ganze Dokument *	1,2,13, 14	F28F B21C
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 02, 29. Februar 2000 (2000-02-29) -& JP 11 316096 A (KOBE STEEL LTD), 16. November 1999 (1999-11-16) * Zusammenfassung; Abbildungen; Tabellen * -& US 6 176 302 B1 (SAEKI) 23. Januar 2003 (2003-01-23) * das ganze Dokument *	1,2,13, 14	
-/--			
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
DEN HAAG	15. August 2003	Van Dooren, M	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 00 12 6816

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE		
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1999, no. 14, 22. Dezember 1999 (1999-12-22) -& JP 11 257888 A (KOBE STEEL LTD; SANYO ELECTRIC CO LTD), 24. September 1999 (1999-09-24) * Zusammenfassung; Abbildungen; Tabelle * -& US 6 056 048 A (TAKAHASHI) 2. Februar 2003 (2003-02-02) * das ganze Dokument * -----	1, 2, 13, 14
		KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
		RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt		
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
DEN HAAG	15. August 2003	Van Dooren, M
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument		

EPO FORM 1503 (03.02.02) (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 00 12 6816

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am

Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

15-08-2003

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
CN 1230672 A	06-10-1999	JP 2000193345 A	14-07-2000
		US 6098420 A	08-08-2000
DE 19757526 C	29-04-1999	DE 19757526 C1	29-04-1999
		DE 59802629 D1	21-02-2002
		EP 0925856 A2	30-06-1999
		US 6067832 A	30-05-2000
US 5996686 A	07-12-1999	KEINE	
US 5992512 A	30-11-1999	JP 3050795 B2	12-06-2000
		JP 9257382 A	03-10-1997
		CN 1177095 A	25-03-1998
		JP 9318286 A	12-12-1997
		JP 10078268 A	24-03-1998
US 3383893 A	21-05-1968	DE 1527778 A1	09-04-1970
		GB 1127422 A	18-09-1968
JP 11316096 A	16-11-1999	CN 1227911 A	08-09-1999
		US 6176302 B1	23-01-2001
JP 11257888 A	24-09-1999	CN 1239218 A	22-12-1999
		US 6056048 A	02-05-2000

EPO FORM P/481

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82